

УДК 622.64

© Р.В. Кирия, В.Ю. Максютенко, Д.Д. Брагинец

УПРАВЛЕНИЕ БУНКЕРАМИ, РАБОТАЮЩИМИ В СИСТЕМАХ КОНВЕЙЕРНОГО ТРАНСПОРТА УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Поставлена и решена задача адаптивного управления усредняющим и аккумулирующим бункерами, работающими в режиме поддержания защитного слоя груза в бункере. Получен алгоритм адаптивного управления бункерами, работающими в условиях горных предприятий.

Поставлено та вирішено задачу адаптивного управління усереднюючим та акумулюючим бункерами, що працюють в режимі підтримки захисного шару вантажу в бункері. Одержано алгоритм адаптивного управління бункерами, що працюють в умовах гірничих підприємств.

The task of adaptive control of averaging and accumulating bunkers working in the mode of maintenance of protective load layer in a bunker is raised and solved. The algorithm of adaptive control of averaging and accumulating bunkers working in the conditions of mining enterprises is obtained.

Бункеры получили широкое распространение в системах подземного конвейерного транспорта угольных шахт.

Усредняющие (сглаживающие) бункеры предназначены для уменьшения неравномерности грузопотоков, поступающих на конвейер.

Усредняющие бункеры имеют небольшую вместимость (20-40 м³) и обычно оборудуются в участковых выработках при перегрузке забойных грузопотоков на сборный конвейер.

Аккумулирующие бункеры предназначены для накопления груза в случаях, связанных с аварийными, технологическими и организационными простоями системы конвейерного транспорта.

Аккумулирующие бункеры имеют большую вместимость (200-800 м³), необходимую для обеспечения работы добункерной конвейерной линии и обычно оборудуются в пределах участковых и капитальных выработок.

Для эффективной работы усредняющих и аккумулирующих бункеров систем конвейерного транспорта угольных шахт, а так же для предотвращения разрушения конвейерного оборудования в бункерах необходимо поддерживать защитный слой груза.

На угольных шахтах широкое распространение получил способ разгрузки бункеров с помощью питателей (рис. 1). В этом случае производительность разгрузки может регулироваться путем изменения скорости питателя v_n или размеров выпускного отверстия h .

Однако в условиях угольных шахт из-за существенной неравномерности поступающего в бункер грузопотока и низкой надежности управляющего оборудования непрерывное поддержание минимального объема защитного слоя груза в бункере с помощью изменения скорости питателя или размеров выпускного отверстия невозможно.

Поэтому на практике поддержание защитного слоя груза осуществляется путем включения и выключения питателя. В этом случае при достижении грузом в бункере минимального объема защитного слоя груза V_1 (м³) питатель от-

ключается и происходит заполнение бункера, а при достижении грузом максимального объема защитного слоя груза V_2 (м^3) питатель снова включается и происходит разгрузка бункера до V_1 и т.д. При этом поступающий в бункер грузопоток выключается только в случае аварийного переполнения бункера, контролируемого отдельным датчиком.

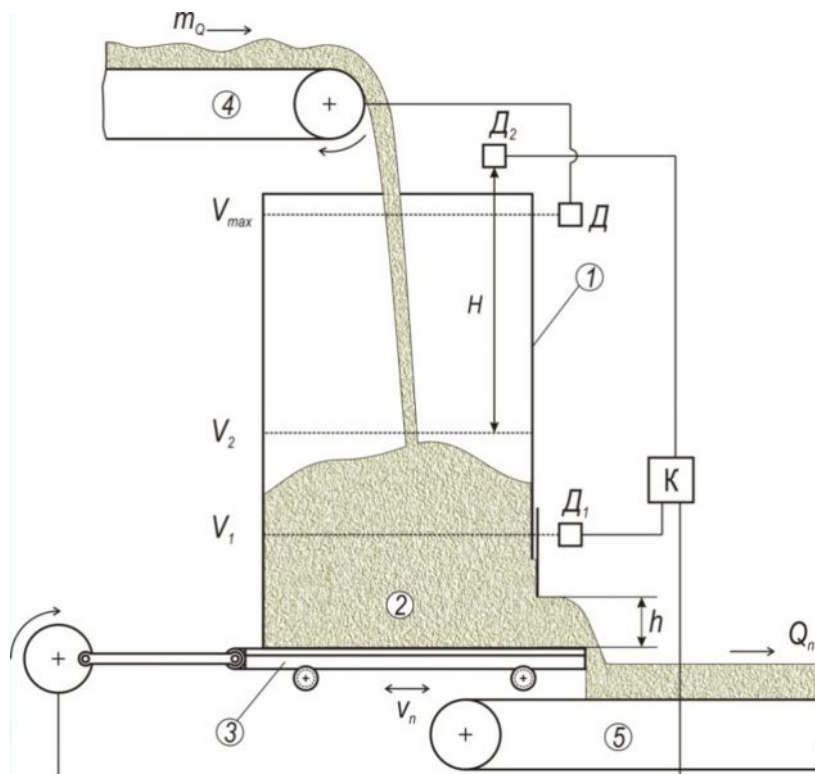


Рис. 1. Схема управления бункером:

1 – бункер; 2 – защитный слой груза, 3 – качающийся питатель; 4 – добункерный конвейер; 5 подбункерный конвейер; К – контроллер; Д – датчик максимального количества груза в бункере; Д1 – датчик контроля минимального уровня защитного слоя груза в бункере; Д2 – датчик контроля максимального уровня защитного слоя груза в бункере

Для предотвращения переполнения бункера производительность разгружаемого грузопотока Q_n (т/мин) принимается большей, чем максимальная средняя величина поступающего грузопотока m_Q (т/мин), т.е. $m_Q < Q_n$.

Целью статьи является создание алгоритма управления бункером при котором средний объем груза в бункере V_c (м^3) и количество включений и выключений питателя должно быть минимальным.

Постановка задачи. Для этого необходимо определить, при каком значении разгружаемого грузопотока Q_n средний объем груза в бункере V_c будет минимальным.

Определим средний объем груза в бункере в стационарном режиме поддержания защитного слоя груза, в предположении об эргодичности случайного процесса [1], по формуле

$$V_c = \frac{1}{t_c} \int_0^{t_c} V(t) dt, \quad (1)$$

$$\text{где } V(t) = \begin{cases} V_1 + m_Q t, & \text{при } 0 \leq t < t_3; \\ V_2 - (Q_n - m_Q)(t - t_3), & \text{при } t_3 \leq t \leq t_c; \end{cases}$$

$t_c = t_3 + t_p$ – среднее время одного цикла работы бункера; t_3 – среднее время заполнения бункера при неработающем питателе ($Q_n = 0$); t_p – среднее время разгрузки бункера при работающем питателе ($Q_n > 0$).

В результате интегрирования выражение (1) примет вид

$$V_c = \frac{V_1 t_3 + V_2 t_p}{t_c} + \frac{m_Q t_3^2 - (Q_n - m_Q) t_p^2}{2\gamma t_c}, \quad (2)$$

где γ – объемный вес материала, т/м³.

В формуле (2) t_3 , t_p являются функциями от параметров m_Q , Q_n , V_1 , V_2 , и γ [1].

Анализ формулы (2) показал, что средний объем груза в бункере в режиме поддержания защитного слоя груза существенно зависит от среднего значения поступающего в бункер грузопотока m_Q , минимального V_1 и максимального V_2 объемов защитного слоя груза в бункере, производительности разгружаемого грузопотока Q_n .

На рисунке 2 показан график зависимости среднего объема груза в бункере V_c в зависимости от производительности разгрузки Q_n , построенный согласно формуле (2).



Рис. 2. График зависимости среднего объема в бункере от производительности разгрузки

Из графика (см. рис. 2) видно, что при увеличении производительности разгрузки Q_n средний объем груза в бункере V_c сначала резко уменьшается, достигая минимального значения, а затем при дальнейшем увеличении Q_n средний объем V_c стремится к предельному значению, равному полусумме максимального и минимального объемов груза в бункере, т.е. $V_c \approx (V_1 + V_2)/2$ при $Q_n \rightarrow \infty$.

Исследования показали [1,2], что для бункеров, работающих в режиме поддержания защитного слоя, минимальное значение среднего объема груза в бункере $V_{c \min}$ мало отличается от полусуммы максимального и минимального объемов защитного слоя груза в бункере, т.е.

$$V_{c \min} \approx \frac{V_1 + V_2}{2}. \quad (3)$$

В связи с этим за минимальную производительность разгрузки $Q_{n \min}$ бункера принимается производительность, при которой средний объем груза в бункере, работающем в режиме поддержания защитного слоя груза, равняется полусумме максимального и минимального объемов груза в бункере.

Подставляя (3) в (2), получим уравнение, из которого можно определить минимальную производительность разгружаемого грузопотока $Q_{n \min}$:

$$\frac{V_1 t_3 + V_2 t_p}{t_c} + \frac{m_Q t_3^2 - (Q_{n \min} - m_Q) t_p^2}{2 \gamma t_c} = \frac{V_2 + V_1}{2}. \quad (4)$$

На практике производительность разгрузки устанавливается равной технической производительности подбункерного конвейера Q_k (т/мин). Поэтому $Q_{n \min}$ должна быть заданной величиной, которая не изменяется даже, если изменяется максимальная средняя величина загружаемого в бункер грузопотока m_Q , т.е.

$$Q_{n \min} = Q_k = \text{const}, \quad (5)$$

Кроме этого, минимальное значение объема защитного слоя груза V_1 , предотвращающее разрушение питателя и дна бункера кусками загружаемого материала задается и является величиной постоянной для каждого бункера.

Следовательно, задачу оптимального управления усредняющим и аккумулирующим бункерами можно сформулировать в следующем виде: при изменении среднего значения поступающего грузопотока m_Q и заданных значениях V_1 , Q_k определить V_2 , при котором среднее значение объема груза в бункере V_c будет минимальным, а Q_n принимает минимальное значение, равное Q_k , т.е. $V_c \rightarrow V_{c \min}$, $Q_{n \min} = Q_k$.

При этом возмущающим параметром оптимального управления является средняя производительность загружаемого в бункер грузопотока m_Q , управляющим параметром является максимальный объем защитного слоя груза в

бункере V_2 , а выходным параметром является средний объем груза в бункере V_c , который совпадает с критерием эффективности управления.

Решением поставленной задачи является значение параметра V_2 , которое определяется из трансцендентного уравнения (2) с учетом (3).

Реализовать на практике поставленную задачу оптимального управления очень сложно, это связано, с одной стороны, с математическими трудностями решения уравнения (2), с другой стороны, с невозможностью определения в шахтных условиях среднего значения поступающего в бункер грузопотока m_Q .

В этом случае мы приходим к задаче оптимального управления бункером в режиме поддержания защитного слоя груза но при неизвестном параметре поступающего грузопотока m_Q (V_1 , Q_k – нам известны), которая является задачей адаптивного управления [3,4].

В нашем случае недостающую априорную информацию о среднем значении поступающего в бункер грузопотока m_Q можно получить, если в процессе работы бункера на каждом i -ом цикле загрузки-разгрузки определять время загрузки бункера T_{zi} при неработающем питателе ($Q_n = 0$) и время разгрузки бункера T_{pi} при работающем питателе ($Q_n > 0$). Затем по полученному значению T_{zi} оценивается текущее значение параметра m_Q . Согласно [3,4], такая система автоматического управления называется самонастраивающейся системой адаптивного управления с идентификатором.

При этом текущее значение параметра m_Q на каждом i -м цикле загрузки-разгрузки бункера оценивается по формуле

$$\bar{m}_{Qi} = \frac{\gamma(V_2 - V_1)}{T_{zi}}, \quad (6)$$

где \bar{m}_{Qi} – оценка параметра m_Q на i -м цикле загрузки, т/мин; T_{zi} – интервал времени загрузки бункера на i -м цикле загрузки-разгрузки, мин.

Целью адаптивного управления усредняющим бункером является минимальное значение среднего объема груза в бункере $V_{c \min}$ при минимальном значении разгружаемого грузопотока $Q_{n \min}$, равного заданной минутной производительности подбункерного конвейера Q_k т.е.

$$V_c \rightarrow V_{c \min} \text{ при } Q_{n \min} = Q_k.$$

Для определения управляющего параметра V_2 необходимо в уравнении (2) подставить вместо t_z , t_p , и m_Q текущие значения T_{zi} , T_{pi} , а так же оценку \bar{m}_{Qi} , определенную по формуле (6).

В результате получим равенство

$$\frac{V_1 T_{zi} + V_2 T_{pi}}{T_{ci}} + \frac{\bar{m}_{Qi} T_{zi}^2 - (Q_{n \min} - \bar{m}_{Qi}) T_{pi}^2}{2\gamma T_{ci}} = \frac{V_2 + V_1}{2}, \quad (7)$$

где $T_{ci} = T_{zi} + T_{pi}$ – длительность i -го цикла загрузки-разгрузки бункера, мин.

Из последнего равенства после преобразования получим

$$Q_{n \min} = \bar{m}_{Qi} \left(1 + \frac{T_{zi}^2}{T_{pi}^2} \right) + \frac{\gamma(V_2 - V_1)(T_{pi} - T_{zi})}{T_{pi}^2}. \quad (8)$$

Полагая в равенстве (8) $Q_{n \min} = Q_k$ и разрешая последнее уравнение относительно V_2 , получим

$$V_2 = V_1 + \frac{Q_e T_{\delta i}^2 - \bar{m}_{Qi} (T_{\delta i}^2 + T_{\zeta i}^2)}{\gamma(T_{\delta i} - T_{\zeta i})}. \quad (9)$$

Следовательно, определяя на каждом i -м шаге цикла загрузки и разгрузки бункера текущие значения времени T_{zi} , T_{pi} , по формуле (6) вычисляется текущая оценка значения \bar{m}_{Qi} , а по формуле (9) определяется максимальное значение уровня защитного слоя груза в бункере V_2 , при котором средний объем груза в бункере V_c и производительность разгрузки бункера Q_n принимают минимальные значения, при этом $Q_{n \min} = Q_k$.

На практике в процессе функционирования усредняющего и аккумулирующего бункеров средняя величина поступающего в бункер грузопотока m_Q в зависимости от количества одновременно работающих очистных забоев изменяется ступенчато. Поэтому, если m_Q принимает больше одного значения, то, согласно формуле (9), управляющий параметр V_2 будет принимать несколько значений.

На рис. 1 показана схема управления усредняющим и аккумулирующим бункерами в режиме поддержания защитного слоя груза.

На схеме датчик D_1 контролирует минимальный уровень объема V_1 защитного слоя груза в бункере. Датчик D_2 по высоте H контролирует максимальный уровень объема V_2 защитного слоя груза в бункере, который может изменяться в зависимости от средней величины поступающего в бункер грузопотока m_Q . Датчик D контролирует аварийный уровень объема груза V_{\max} в бункере и в случае переполнения бункера выключает добункерный конвейер.

Контроллер K перерабатывает поступающую информацию от датчиков уровня и выдает сигнал на включение или выключение питателя.

Если уровень груза в бункере достигает минимального значения объема защитного слоя груза V_1 , то сигнал от датчика D_1 поступает на контроллер K , который дает команду на отключение питателя. Если уровень груза в бункере достигает максимального значения объема защитного слоя груза в бункере V_2 , то сигнал от датчика D_2 поступает на контроллер K , который дает команду на включение питателя.

В случае изменения средней производительности поступающего в бункер грузопотока m_Q контроллер будет давать команду на отключение питателя при другом максимальном уровне объема защитного слоя груза V_2 .

В результате выше изложенного алгоритм адаптивного управления усредняющим и аккумулирующим бункерами можно представить следующим образом.

Исходными данными для адаптивного управления бункерами являются: Q_k, V_1, γ .

1) С помощью датчиков на i -ом шаге цикла загрузки и разгрузки определяется время заполнения бункера T_{zi} от V_1 до V_2 при неработающем питателе ($Q_n = 0$) и время разгрузки бункера T_{pi} от V_2 до V_1 при работающем питателе ($Q_n > 0$).

2) По значению T_{zi} бункера на i -ом шаге цикла загрузки и разгрузки оценивается величина поступающего в бункер грузопотока \bar{m}_{Qi} по формуле (6).

3) По значению \bar{m}_{Qi} , согласно (9), определяется новое максимальное значение защитного слоя груза в бункере V_2 .

Выводы. Следовательно, на основании анализа математической модели процесса функционирования бункера работающего в режиме поддержания защитного слоя груза в условиях угольных шахт, поставлена и решена задача его оптимального и адаптивного управления.

Разработан алгоритм адаптивного управления усредняющим и аккумулирующим бункерами, позволяющий минимизировать среднее количество груза в бункере и количество включений и выключений питателя.

Предложена схема адаптивного управления усредняющим и аккумулирующим бункерами в условиях угольных шахт, основанная на применении контроллера.

Список литература

1. Кирия Р.В. Математическая модель функционирования усредняющего бункера в условиях угольных шахт / Р.В. Кирия // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 4(75). - Дніпропетровськ, 2011. - С. 159-168.
2. Кирия Р.В. Имитационные модели функционирования усредняющих и аккумулирующих бункеров конвейерных линий угольных шахт / Р.В. Кирия, Д.Д. Брагинец, Т.Ф. Мищенко // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАНУ. - Днепропетровск, 2008 – Вып. 77. - С. 100-109.
3. Ким Д.П. Теория автоматического управления. Т.2 Многомерные, нелинейные оптимальные и адаптивные системы: учеб. пособие. / Д.П. Ким. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. - 464 с.
4. Справочник по теории автоматического управления / Под ред. А.А. Красовского. - М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. - 712 с.

*Рекомендовано к публикации д.т.н. Ширінім Л.Н.
Поступила в редакцію 14.04.2012*